

이족로봇을 위한 비전기반 보행 제어 시스템

강태구, 박귀태
고려대학교 전자,전기공학과

Vision Based Walking Assitant System for Biped Walking Robot

Tae-Koo Kang and Gwi-Tae Park
School of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 지능형 로봇에서 환경인식과 이러한 환경에 따른 행동 결정 능력은 로봇이 필수적으로 갖추어야 할 기능이다. 본 논문은 이족로봇 플랫폼에서 비전기반 환경인식과 이를 통한 안정적인 보행 제어시스템을 제안한다. 비전기반 환경인식 시스템은 움직임 모델을 이용한 로봇 자체 움직임 보정 모듈, Adaboost를 이용한 장애물 영역 추출, PCA를 이용한 장애물 특징 추출, Hierarchical SVM을 이용한 장애물 인식 모듈로 구성되어 있으며, 이러한 환경 인식 시스템으로부터 보행 제어 시스템은 상황에 맞는 안정적이 보행 궤적을 생성한다. 보행 제어 시스템은 neural network을 이용하여 보행 궤적 생성 모듈과 보행 오차를 보정하기 위한 fuzzy 제어기 모듈로 구성되어 있다. 본 시스템을 제작한 로봇에 적용한 결과 보다 안정적인 보행을 할 수 있었다.

1. 서 론

지금까지 이족 로봇의 보행에 관한 많은 연구와 발전이 있었다. 초창기의 이족 로봇 연구는 이족 보행에 있어서의 동작 제어를 위한 동역학 기반의 보행 궤적 생성에 중점을 두었다. 따라서 이 시기의 연구 결과들은 'Inverted Pendulum Model'을 사용하여 다리의 움직임만을 이용하여 인간의 보행을 모델링 하였다. 이후 보행 궤적 생성의 연구 결과가 성과를 이루고 난 후, 보행의 안정도를 유지하기 위한 연구들이 소개되었고, 'Zero Moment Point'로 불리는 균형점을 이용하여 로봇의 동보행을 가능하게 하였다[1]. 최근의 연구들은 한걸음 더 나아가 몸 전체의 관절을 이용하여 다양한 동작을 하면서 균형을 유지할 수 있도록 제어하는 'Whole Body Control'에 대하여 연구가 집중되고 있다.

그러나 이상의 연구들은 모두 평지와 같은 일반적인 환경에서의 보행에 대한 것이며, 계단과 경사면과 같은 비일반적인 환경들에서의 보행에 대한 연구는 드문 실정이다. 이족 로봇이 실생활에 사용되려면 로봇이 스스로 자신의 주변 환경을 인식하고 이에 따라서 자동적으로 보행 궤적을 설정하여야 한다[2][3][4]. 본 논문에서는 이러한 이족 보행 로봇의 동적인 보행을 위한 기반 기술이 될 수 있는 환경 인식과 이러한 환경에 따른 자세제어로 구성된 상태 제어 시스템을 제안하고자 한다.

우선, 비전 기반의 이동 물체 추적 및 인식 분야에 대해 기존에 많은 연구 결과들이 있지만, 기존의 방법들이 고정카메라와 이동 로봇에 초점이 맞추어져서 개발되었기 때문에 이족 로봇에 사용하기에는 적합하지 않은 면이 있다. 특히, 이족 로봇은 이동 로봇과는 달리 보행 시에 획득되는 영상의 움직임이 중첩되어 나타나기 때문이다. 따라서, 주로 카메라의 움직임에 고정이나 미세한 움직임을 가정으로 하는 이동 로봇의 방법론을 적용하기 힘든 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 전처리 과정으로 이족로봇의 움직임을 모델화 하여 이 모델을 이용하여 카메라 자체의 움직임을 보정하였다. 또한 회전이나 움직임에 강한 Adaboost방법[5]을 이용하여 장애물 영역을 추출하고, 추출된 영역으로 부터의 얻어진 특징 벡터의 차원을 줄이기 위하여 PCA(Principal Component Analysis) 방법[6]을 사용하였다. 마지막으로 장애물을 계층구조로 이루어진 Hierarchical SVM방법[7]과 적외선 및 초음파 센서를 이용하여 구체적인 장애물의 종류와 장애물에 대한 정보를 획득하도록 하였다.

그러나, 위와 같은 외부에 대한 상황 인지 정보에 대하여, 보행 시에 기구부의 오차, 노면의 마찰력, 센서의 부정확성 등의 원인들로 인해 이상적인 보행 궤적과 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차를 극복하기 위해서 본 논문에서는 실시간으로 FSR과 자이로 센서 데이터를 기반으로 하는 퍼지시스템을 이용하여 이족 로봇의 상태를 보정하는 방법을 사용하였다. 또한 이상적인 보행 궤적은 학습 능력을 갖는 다층 신경망을 이용하여 생성하였다.

2. 본 론

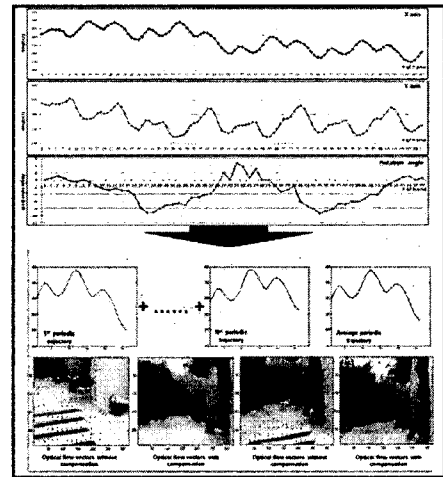
2.1 환경 인식 시스템

환경 인식 시스템은 보행 시에 마주치게 되는 장애물의 종류를 분류하고 이에 대한 구체적인 정보를 제공한다. 따라서 로봇은 인식 결과로부터 적절한 보행 궤적을 생성하고 로봇 자체의 행동을 자동적으로 결정할 수 있다. 이러한 시스템은 로봇이 고정되거나 인의적

인 환경이 아닌 실제 환경에서 사용되기 위해서는 필수적으로 구현되어야 할 부분이다. 본 논문에서는 장애물의 종류를 경사면, 계단, 벽의 3가지로 분류를 하였다. 본 시스템은 크게 자체 움직임 보정 모듈, 장애물 영역 추출 모듈, 장애물 특징 추출 모듈, 장애물 인식 모듈의 세 개의 모듈로 구성되어 있다. 각각의 모듈에 대한 구체적인 설명은 아래와 같다.

2.1.1 자체 움직임 보정

비전을 이용하여 로봇의 자체 움직임을 보정하기 위하여 NCC(normalized Cross Correlation)을 이용하여 움직임을 분석하면 다음과 같다.



<그림 1> x, y, 회전에 대한 로봇의 자체 움직임 보정

이를 이용하여 변이와 회전에 대한 모델은 생성할 수 있다. 모델은 한 주기에 대한 움직임에 대하여 모델을 생성하게 된다. 모델은 우선 여러 주기에 대하여 각 주기의 피크점을 기준으로 정렬한다. 정렬된 데이터에 대하여 각 프레임에서의 변이 및 회전에 대한 평균값을 각각 구하게 된다. 이렇게 구해진 데이터를 통하여 한 주기 동안의 변이와 회전에 대한 모델을 생성하고, 이를 이용하여 자체 움직임을 보정한다.

2.1.2 장애물 영역 추출

장애물 후보 영역은 Adaboost 방법을 이용하여 추출하였다. Adaboost 방법은 여러 개의 weak classifier들을 병합하여 보다 정확한 분류기를 생성하는 방법이다. 하나의 classifier는 회전이나 이동된 영상에 대하여 탐지 능력이 약하지만, 일단 병합된 분류기가 생성되면 회전이나 이동에 대해서도 장애물 탐지가 가능하다.

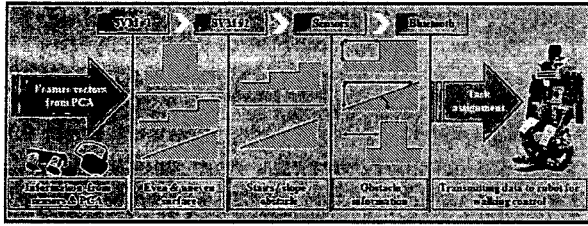
2.1.3 장애물 영역 특징 추출

추출된 장애물 영역으로부터 장애물의 특징을 추출하는 방법은 PCA(Principal Component Analysis)를 이용하여 수행하였다. PCA는 영상 처리 분야에서는 주로 영상 데이터의 차원을 줄이거나 영상의 특징을 추출하는데 사용되고 있으며, 신호처리 분야에서는 주로 신호를 압축하거나 노이즈가 포함된 데이터로부터 신호를 추출하는 방법으로도 많이 사용되고 있다.

2.1.4 장애물 인식

추출된 장애물 특징 데이터는 인식을 위한 입력 데이터로 사용 된다. 이러한 특징을 이용하여 장애물을 인식하는데 본 논문에서는 SVM을 사용하여 인식하였다. 또한 SVM의 이진분류 속성을 확장하여 2단계의 계층적 구조를 사용하여 노면의 상태와 장애물의 상태에 따라 인식을 하도록 하였다. 이러한 Hierarchical SVM은 1단계에서는 장애물을 로봇이 넘어갈 수 있는지에 판단을 하게 된다. 2단계에서는 장애물을 인식하도록 하였다. 본 논문에서

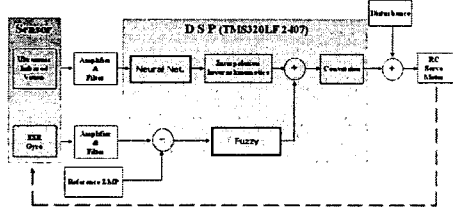
서는 인식할 수 있는 장애물을 계단, 언덕, 벽의 3가지로 정의하였다. 그림 2는 Hierarchical SVM의 인식단계를 보여준다.



〈그림 2〉 Hierarchical SVM을 이용한 장애물 인식

2.2 보행 제어 시스템

자세 제어 시스템은 크게 신경망을 이용한 이족로봇의 보행 궤적 생성 모듈과 퍼지 시스템을 이용한 자세 제어 모듈로 이루어져 있다. 그림 3은 이족 로봇에 대한 전체적인 자세 제어 시스템의 구조를 나타낸다.



〈그림 3〉 이족로봇 보행 제어 시스템

2.2.1 이족로봇의 보행궤적 생성

로봇의 지능적 보행(Intelligent Walking)을 구현하기 위해서는 학습 능력을 갖추어야 하기 때문에 다층 신경망을 이용하여 로봇의 보행 궤적을 생성하였다. 신경망의 입력으로는 로봇의 보행 방향, 경사면 각도, 장애물 종류, 로봇 상태(자세)를 수치화하여 사용하였다. 신경망의 출력으로는 로봇의 다음 스텝에 대한 정보를 출력한다. 만약, 출력으로 로봇의 모든 관절에 대한 정보(좌표)를 출력하면 신경망의 출력 노드가 많아지게 되어 출력에 대한 신뢰성이 떨어질 수 있고 연산 부하가 커지게 되므로 허리(Pitch)와 발목(Pitch)에 대한 시작점, 중간 점, 끝점에 대한 각각의 좌표와 시간을 출력한다. 신경망에 의해 출력된 허리(Pitch) 및 발목(Pitch 좌, 우)의 X축 정보 9개, Y축 정보 9개, Z축 정보 9개를 이용하여 보간법(Interpolation)으로 한 스텝에 대한 허리(Pitch) 및 발목(Pitch 좌, 우)의 전체 궤적을 만들 수 있다.

2.2.2 이족로봇의 보행 제어

로봇이 실시간으로 생성된 궤적을 따라 정확하게 동작을 한다면 로봇은 안정적인 보행을 할 수 있다. 하지만, 실제로는 기구부의 오차, 노면의 마찰력 등으로 인하여 실제 궤적을 따라 가기는 어렵기 때문에 안정적인 보행을 보장 할 수 없다. 그래서 기구부의 오차, 노면의 마찰력, 센서의 부정확성 등을 보상하기 위해서 본 논문에서는 퍼지[8]시스템을 이용하여 이족 로봇의 실시간 자세 제어를 하였다. 외란에 대한 보상은 FSR과 자이로 센서 데이터를 기반으로 외란에 대한 오차를 최소화 하였다. 퍼지 시스템에서의 출력은 로봇의 허리(Pitch, Roll) 및 발목(Pitch) 관절 값이다. 즉, 로봇의 허리와 발목 관절을 이용하여 외란에 대한 보상을 하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 보행 성능 실험

첫 번째 실험은 퍼지 제어기를 이용한 자세 보정이 보행 궤적에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 보상 전후의 값을 비교하였다. 실험은 로봇이 보행 시 엉덩이높이 200mm, 보폭 120mm, 발목의 최대 높이 72mm 일 때를 기준으로 수행하였으며 균형점 파형에 따른 보상 전후의 궤적을 비교하는 방법을 사용하였다. 실험 결과는 표 1과 같다.

〈표 1〉 퍼지 제어기에 의한 균형점 궤적 비교(단위 mm)

균형점	축	X 축			Y 축		
		최소값	최대값	MSE	최소값	최대값	MSE
파형	사인	-35.61	31.2	95.54	-39.24	48.22	129.73
	삼각	-40.52	30.91	105.57	-38.45	65.89	149.26
	사각	-52.25	50.26	140.39	-46.25	58.49	163.28

3.2 보행 성능 실험

두 번째 실험으로써 환경 인식 시스템의 인식 성능을 실험하였다. 실험은 인식 정확도와 연산 속도, 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다. 실험 환경은 Adaboost의 윈도우 크기는 25X25, 30X30으로 하였다.

인식 정확도 실험은 벽, 경사면, 계단의 세가지 장애물에 대하여 각각 25, 50개의 주성분들과 세가지 SVM 커널들을 조합하여 수행하였다. 실험 데이터는 150개의 영상 시퀀스를 구성되었으며, 학습용 50개, 테스트용으로 100개로 구성되어 있다. 각 영상 시퀀스는 각각 10초(300프레임) 크기로 이루어져 있다. 표 2는 실험을 통한 인식 성능 결과를 나타낸다.

〈표 2〉 인식 성능 실험 결과

Ada_win_size	Num_PC	SVM_kernel	Accuracy (%)		
			wall	slope	stairs
25x25	25	linear	85	88	91
		polynomial	85	88	94
		RBF	92	92	96
	50	linear	90	89	91
		polynomial	91	91	94
		RBF	92	91	96
30x30	25	linear	89	89	91
		polynomial	91	92	93
		RBF	93	92	96
	50	linear	91	89	92
		polynomial	92	93	94
		RBF	92	92	96
Average			90.2	90.4	93.6

3. 결 론

이족 보행 로봇이 실제 인간의 일을 대신하거나 돕기 위해서는 로봇이 인간처럼 사고하고, 동작해야만 한다. 이를 이족 보행 로봇이 인간과 같은 지능을 갖출 때 가능하다. 본 논문에서는 이족로봇의 환경 인식과 자세제어를 통한 상황 제어 시스템을 제안함으로써 제약 조건 없는 지능적 보행이 가능한 시스템을 제안 하였다. 특히, 환경 인식을 위해서 Adaboost와 PCA 및 Hierarchical SVM을 이용하여 장애물을 인식하였으며, 지능적 보행을 위해 유연성 있는 보행을 위하여 신경망과 퍼지시스템을 적용하였다. 향후 보다 정확한 환경 인식 및 보행을 위하여 장애물 뿐만 아니라 움직이는 물체들에 대한 인식 및 정보를 획득 할 수 있는 방법들이 연구되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국 건설교통기술 평가원에서 위탁 시행한 첨단융합기술개발사업[과제번호: 06첨단융합D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- [1] Erbaturo K., Okazaki A., Obiya K., Takahashi T., Kawamura A., "A Study on the Zero Moment Point Measurement for Biped Walking Robots", Advanced Motion Control, 2002. 7th International Workshop, pp.431-436, 2002.
- [2] Hun-ok Lim, Yoshiharu Kaneshima and Atsuo Takanishi, "Online Walking Pattern Generation for Biped Humanoid Robot with Trunk", Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.3111-3116, 2002.
- [3] Jong Hyeon Park, Hoam Chung, "ZMP Compensation by On-Line Trajectory Generation for Biped Robots", Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC '99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on, Vol. 4, pp.960-965, 1999.
- [4] Shuuji Kajita, Osamu Matsumoto and Muneharu Saigo, "Real-time 3D Walking pattern generation for a biped robot with telescopic legs", Proc. of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.2299-2036,2001
- [5] P. Viola and, M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features" Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 511-518, 2001.
- [6] I. T. Jolliffe, "Principal Component Analysis" Springer-Verlag, New-York, 1986.
- [7] V. Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory" Springer-Verlag, New-York, 1995.